مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۵، شماره ۲، سال ۱۳۹۸

گزینش مقدماتی تعدادی از پایه‌های گلابی برای تحمل به تنش کم آبیاری بر اساس شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک

Preliminary Selection of Some Pear Rootstocks for Tolerance to Deficit Irrigation Stress Based on the Growth and Physiological Indices

مجید ظهوری[۱]، حمید عبداللهی[۲]، عیسی ارجی[۳] و وحید عبدوسی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۲- دانشیار، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم و باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۴- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲۱

چکیده

ظهوری، م.، عبداللهی، ح.، ارجی، ع. و عبدوسی، و. ۱۳۹۸. گزینش مقدماتی تعدادی از پایه‌های گلابی برای تحمل به تنش کم آبیاری بر اساس شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۵:** ۳۰۱- ۲۸۵.

تحمل به تنش خشکی از خصوصیات مهم مرتبط با پرورش درخت گلابی و انتخاب نوع پایه مورد استفاده برای احداث باغ می‌باشد. بر این اساس در تحقیق حاضر، ارزیابی شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک مرتبط با تنش کم آبیاری در پایه‌های کشت بافتی درگزی، *Pyrus betulifolia*، پیرودوارف، OH×F69 و OH×F87 در سه شرایط بدون تنش، آبیاری در ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه در شرایط گلخانه‌ای طی ۶۰ روز از اعمال تنش بررسی شد. پایه‌های *P. betulifolia* و OH×F87 بر اساس دو شاخص سرعت رشد نسبی و تعداد برگ ($tg\alpha_{ln}$) به ترتیب بالاترین و کمترین سرعت رشد و همچنین تحمل به تنش کم آبیاری را نشان دادند. ارزیابی ماهانه شاخص‌های فیزیولوژیک محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول کل و پروتئین و همچنین پایداری غشاء و نشت یونی نشان داد که پایه *P. betulifolia* با ۷۲/۱ درصد پائین‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ را در شرایط بدون تنش داشت. لیکن با توجه به کاهش بیشتر شاخص محتوای نسبی آب برگ به ۵۷/۱ و ۵۸/۳ درصد در دوره‌های ۳۰ و ۶۰ روزه در تنش ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه که پائین‌تر از اغلب پایه‌ها بجز OH×F87 بود، دارای بالاترین قدرت رشد در شرایط تنش بود. جمع بندی نتایج نشان داد که ترتیب نزولی تحمل به تنش کم آبیاری در پایه *P. betulifolia*، پیرودوارف، OH×F69، پایه درگزی و در نهایت پایه OH×F87 بود که بیانگر لزوم انجام ارزیابی‌های تکمیلی به منظور انتخاب پایه مناسب برای احداث باغ گلابی در شرایط واجد تنش کم آبیاری است.

واژه‌های کلیدی: گلابی، تنش خشکی، *Pyrus betulifolia* Bunge، پیرودوارف، OH×F Series، شرایط گلخانه.

نگارنده مسئول: h.abdollahi@areeo.ac.ir تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۲۵۴۱

مقدمه

درخت گلابی در میان درختان میوه دانه‌دار، پس از سیب مهم‌ترین گونه از نظر تجاری به حساب می‌آید. بر اساس آخرین آمار سازمان غذا و کشاورزی (FAO) سطح زیر کشت آن در جهان در سال ۲۰۱۷ میلادی حدود یک میلیون و چهارصد هزار هکتار و تولید آن بیش از ۲۴ میلیون تن بود (FAO, 2018). سهم ایران از سطح زیر کشت و تولید انواع مختلف گلابی گونه *Pyrus communis* L. به ترتیب معادل ۱۶ هزار هکتار و ۲۰۴ هزار تن بود (Anonymous, 2017).

مهم‌ترین ارقام تجاری گلابی ایران به ترتیب رقم لوئیزبون (Louise Bonne) (معروف به بیروتی)، درگزی، ویلیامزدوشس (Williams Duchesse) و اسپادونا (Spadona) است (Abdollahi, 2010). همچنین مهم‌ترین پایه‌های همگروه گلابی، پایه‌های سری کوئینس (Tukey, 1964)، پایه‌های هیبرید سری الدهم× فارمینگدال (Oldhome×Farmingdale) و پایه‌های سری رنوس (Rhenus) نظیر پیرودوارف (Pyrodwarf) می‌باشند (Campbell, 2003).

از طرفی پایه‌های بذری حاصل از گونه‌های مختلف گلابی، در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (Westwood, 1993)، لیکن در مناطق مختلف تولید گلابی ایران، پایه بذری از رقم درگزی پایه غالب گلابی محسوب می‌شود (Abdollahi, 2010). شواهد اخیر بیانگر کاهش شدید تقاضای نهال گلابی روی پایه بذری و تمایل به استفاده از پایه‌های همگروه می‌باشد.

از بین پایه‌های گلابی رویشی گلابی متعلق به سری کوئینس، پایه کوئینس A به صورت محدودی در کشور در سطح تحقیقاتی (Tatari *et al*., 2016; Rahmati *et al*., 2015a; Rahmati *et al*., 2015b; Ghasemi *et al*., 2010) و تجاری (Abdollahi, 2010) استفاده شده است و نتایج بیانگر مناسب بودن این پایه برای خاک‌های غنی استان‌های شمالی و بویژه در ترکیب با رقم اسپادونا می‌باشد (Abdollahi *et al*., 2018). به دلیل محدودیت امکان استفاده از این پایه در مناطق نیمه‌خشک و خشک، پایه‌های گلابی سری الدهم× فارمینگدال شامل OH×F40، OH×F69، OH×F87 و OH×F333 و پایه پیرودوارف در دهه اخیر برای توسعه باغ‌های نیمه‌پاکوتاه گلابی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

از بین پایه‌های فوق، پایه پیرودوارف به دلیل سازگاری و زودباردهی بیشترین استفاده را در نهالستان‌ها و باغ‌های جدید گلابی کشور دارد (Abdollahi, 2010). در کنار پایه‌های رویشی فوق، پایه‌های بذری *P. betulifolia* Bunge و *P. calleryana* Decne. نیز با هدف استفاده به دلیل مقاومت زیاد آنها به تنش‌های زنده نظیر بیماری‌های پوسیدگی طوقه (Chalice and Westwood, 1973) و همچنین تحمل به خاک‌های خشک

(Stern *et al.*, 2013) بـه کشـور وارد و بـه صورت محدودی مورد ارزیـابی مقـدماتی قـرار گرفتـه اسـت (Mansuryar *et al.*, 2017a; Mansuryar *et al.*, 2017b; Mansuryar, 2016). از سویی مشاهدات نشـان داده اسـت گرچـه پایـه بـذری حاصـل از رقـم درگزی از تحمـل نسـبی بـه تنش‌هـای غیرزنـده نظیـر کاشـت در خاک‌هـای خشـک برخـوردار اسـت (Abdollahi, 2010). لـیکن بـه دلیـل محدودیت تحقیقات انجام شـده، ایـن بـه معنـی مطلوبیت مطلق این پایه برای خاک‌هـای منـاطق خشک و نیمه خشک کشور محسوب نمی‌شود.

با توجه به تنوع گسترده گونه‌های گلابـی در آسـیای شـرقی و مرکـزی، خاورمیانـه، اروپـا و شـمال آفریقـا، گونـه‌های مختلفـی از گلابـی بـرای اسـتفاده بـه عنـوان پایـه و تحمل به خشکی مـورد اسـتفاده قـرار گرفته‌انـد (Lombard and Westwood, 1987). ال مئ‌آری و همکـاران (Al Maarri *et al*. 2007) دانهال‌های حاصل از گونه *P. syriaca* را بـرای تحمل به خشکی توصیه کردند. علاوه بـر گونـه فـوق، گونـه‌های *P. amygdaliformis*، *P. elaeagrifolia* و *P. cordata* نیز که تحمل بالائی بـه خشـکی دارا می‌باشـند، در برنامـه‌های اصـلاحی بـرای تولیـد پایـه مـورد اسـتفاده قـرار گرفته‌اند (Bonany *et al*. 2005).

در طبقه‌بنـدی گونـه‌های مختلـف گلابـی توسـط بـل (Bell, 1991) بـرای تحمـل بـه تنش‌هـای زنـده و غیرزنـده، تمـامی گونـه‌های حوضه مدیترانه متحمل به خشکی گزارش شد و تنها گونه *P. betulifolia* با منشاء جنوب شـرقی آسیا بسیار متحمل به خشکی گزارش شد کـه بـا نتایج اسـترن و همکـاران (Stern *et al*., 2013) موافقـت دارد. از بـین پایـه‌های بـذری مختلـف گلابی گزارش شـده در تحقیقـات مختلـف، دو گونـه .P. communis L و *P. betulifolia* Bunge بـه صـورت تجـاری مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرنـد (Stern *et al*., 2013; Hancock and Lobos, 2008; Westwood, 1993).

عـلاوه بـر ایـن، بررسـی نیکـزاد قره‌آغـاجی (Nikzad Gharehaghaji, 2013) نشان داد کـه پایـه پابلنـد معـروف بـه پایـه خـارجی (Accession-63 BGH) که تحمل مطلـوبی بـه تنش‌های زنده و غیرزنده در دشت قزوین نشـان داده است و با نام تجاری پایـه Q1 مـورد تکثیـر قرار می‌گیرد (Abdollahi, 2010)، دارای رابطه خویشـاوندی نزدیکـی بـا گونـه‌های شـرقی می‌باشد. علاوه بر پایه Q1 که به صـورت بسـیار محدود در برخی نهالستان‌های استان البرز مـورد اسـتفاده اسـت، در حـال حاضـر شـماری از پایـه‌های سـری الـدهم× فارمینگـدال و پایـه پیـرودوارف در کنـار پایـه بـذری رایـج درگزی در کشور مـورد تکثیـر قـرار می‌گیرنـد. پایه *P. betulifolia* Bunge نیز در یـک تجربـه مقدماتی، سازگاری خوبی به خاک‌هـای منـاطق نیمه‌خشک ایران نشـان داد کـه نیازمنـد ارزیـابی طولانی مدت و دقیق‌تری می‌باشد.

با توجه به وجود تنوع پایه‌های فوق و اهمیت

تنش خشکی طی دهه‌های اخیر در مناطق مختلف کشور، در این پژوهش ارزیابی مقدماتی تحمل به تنش کم آبیاری در شماری از پایه‌های گلابی در شرایط گلدانی انجام شد. نتایج حاصل می‌تواند به عنوان مقدمه‌ای برای ارزیابی‌های تکمیلی این پایه‌ها در شرایط باغ و همچنین بررسی عادت رشد و عمق نفوذ ریشه و امکان کاربرد تجاری آنها مفید باشد.

مواد و روش‌ها

پایه‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل پایه درگزی از گونه *P. communis* L. و پایه *P. betulifolia* Bunge در کنار سه پایه رویشی OH×F69، OH×F87 و پیرودوارف (Pyrodwarf) (Jacob, 1998) بودند. به منظور اجتناب از تداخل عادت رشد انواع پایه بذری و پایه‌های همگروه و همچنین پرهیز از تنوع ژنتیکی در تکرارهای مختلف پایه‌های بذری، در رابطه با دو پایه بذری درگزی و *P. betulifolia*، یک دانهال انتخاب و به صورت رویشی و با استفاده از روش تکثیر درون شیشه ارائه شده توسط عبداللهی و همکاران (Abdollahi *et al*., 2005) برای پایه درگزی و منصوریار و همکاران (Mansuryar *et al*., 2016) برای پایه *P. betulifolia* مورد ازدیاد قرار گرفتند. پایه‌ها در زمان ارزیابی همگی دارای یک‌سال سن بودند. کلیه پایه‌ها شامل پایه‌های رویشی نیمه پاکوتاه‌کننده OH×F69، OH×F87 و پیرودوارف و پایه‌های پابلند به صورت عاری از ویروس از پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری موسسه تحقیقات علوم باغبانی در کرج تهیه شدند.

برای اعمال تیمارهای کم آبیاری، هر پایه با ارتفاع حداقلی ۵۰ سانتی‌متر و با قطر حدود یک سانتی‌متر تهیه و در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی با ترکیب مساوی خاک، ماسه و کوددامی کاملاً پوسیده از اواسط خرداد سال ۱۳۹۵ مستقر شدند. در هر تیمار آزمایشی سه تکرار و در هر کرت نیز سه پایه در نظر گرفته شد. بنابراین تعداد پایه مورد بررسی نه عدد در هر تیمار آزمایشی بود.

میانگین دمای روزانه گلخانه استقرار پایه‌ها ۳ ± ۲۸ درجه سانتی‌گراد و با طول دوره طبیعی تابش مرداد و شهریور در منطقه کرج در نظر گرفته شد. به منظور اعمال تیمارهای تنش کم آبیاری، از نیمه تیر و پس از استقرار پایه‌ها در خاک، در همان سال نسبت به اعمال تنش‌های کم آبیاری به صورت ۵۰ درصد (تنش شدید) و ۷۵ درصد (تنش خفیف) ظرفیت مزرعه (Field capacity) در کنار شاهد بدون تنش به صورت آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه بر اساس روش استفاده شده برای پایه‌های سیب توسط آتشکار و همکاران (Atashkar *et al*., 2019) اقدام شد. برای اعمال تیمارهای تنش آبیاری، از روش وزنی استفاده شد و پس از توزین گلدان در شرایط آبیاری کامل و خروج آب اضافی (۱۰۰ درصد

ظرفیت مزرعه)، روزانه گلدان‌ها توزین و میزان آب لازم در تیمارهای کم آبیاری پس از رسیدن به ظرفیت مزرعه مورد نظر اضافه شد.

ارزیابی‌های انجام شده شامل ارزیابی شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک روی پایه‌های در معرض تنش، در طی بازه زمانی ۶۰ روز پس از آغاز تنش بود. اساس انتخاب این مدت بر ظهور موثر اثر تنش و قبل از خشک شدن شدید پایه‌ها در تنش شدید بود. به این منظور، شاخص‌های رشد شامل ارتفاع (میزان رشد) پایه و تعداد گره (تعداد برگ) در دوره‌های زمانی صفر (مرحله آغاز تنش) و سپس ۳۰ و ۶۰ روز مورد ارزیابی قرار گرفتند.

به منظور امکان مقایسه ساده‌تر شیب منحنی‌های میزان رشد نهائی پایه‌ها، دو شاخص فوق شامل افزایش ارتفاع و تعداد گره تولیدی، به صورت سرعت رشد نسبی (تانژانت زاویه افزایش رشد) و تانژانت زاویه افزایش تعداد برگ محاسبه و مقایسه شدند.

سرعت رشد نسبی (Relative Growth Rate = RGR) بر اساس رابطه:

$$RGR = (L_2-L_1)/(t_2-t_1)$$ (Liu *et al.*, 2012)

محاسبه شد که در این رابطه L_2 ارتفاع نهال در روز t_2 و L_1 ارتفاع نهال در روز t_1 بود.

شاخص‌های فیزیولوژیک مورد بررسی شامل میزان آب نسبی برگ (Relative water content = RWC)، دمای برگ و مقادیر پرولین، میزان پروتئین کل ، میزان کربوهیدرات کل، میزان نشت یونی و شاخص پایداری غشاء سلولی بود که در دوره‌های زمانی ۳۰ و ۶۰ روز پس از آغاز تنش در نمونه‌های برگی در کلیه پایه‌ها و کلیه سطوح آبیاری در تکرارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای نمونه برداری برگی، تعداد ۲۰ برگ در دوره مذکور از بخش‌های مختلف شاخه‌ها بجز برگ‌های بسیار جوان و توسعه نیافته نمونه برداری شد و بلافاصله جهت نگهداری در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد تا انجام ارزیابی‌ها نگهداری شدند. تنها در رابطه با ارزیابی میزان آب نسبی برگ، دمای برگ و میزان نشت یونی، ارزیابی‌ها قبل از برداشت برگ و یا بلافاصله پس از برداشت برگ انجام شد و سایر ارزیابی‌ها در یک دوره زمانی سه ماهه از نمونه‌برداری در آزمایشگاه صورت گرفت.

شاخص پایداری غشاء سلولی بر اساس روش سایرام و همکاران (Sairam *et al.*, 1994) و با استفاده از میزان نشت یونی بر اساس هدایت الکتریکی (EC) توسط دستگاه EC متر (Walk Lab مدل Trans Instruments) به دست آمد. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر استفاده شد:

$$\%RWC = \frac{W_f - W_d}{W_t - W_d} \times ۱۰۰$$

که در آن W_f وزن‌تر برگ، W_d وزن خشک برگ و W_t وزن برگ در حالت تورژسانس بود.

پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء با استفاده از اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدئید و بر اساس روش هیس و پاکر (Heath and Packer, 1968) انجام شد. غلظت مالون‌دی‌آلدئید با اندازه‌گیری جذب در طول موج ۵۳۲ ارزیابی شد. همچنین تهیه عصاره و اندازه‌گیری پرولین آزاد برگ با استفاده از معرف نین‌هیدرین با استفاده از عصاره برگ و ارزیابی جذب نوری به کمک اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد.

استخراج و اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ طبق روش به کار رفته توسط بایسه و مرکس (Buysse and Merckx, 1993) انجام شد. به این منظور، پس از تهیه عصاره اتانولی برگ، جذب نور در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت شد. مقدار قندهای محلول بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین‌های محلول در گیاه از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. به این منظور، سه میلی‌لیتر از معرف برادفورد به همراه ۱۰۰ میکرولیتر آلبومین گاوی تهیه و پس از مخلوط کردن کامل دردستگاه اسپکترومترقرار داده شد و جذب محلول در طول موج ۵۹۵ نانومتر ثبت گردید. غلظت پروتئین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه با استفاده از منحنی استاندارد که توسط سرم آلبومین گاوی تهیه شده بود محاسبه شد.

رسم نمودارها و تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از موازین طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و سه نمونه در هر کرت آزمایش و با استفاده از نرم‌افزار اکسل (Microsoft Excel 2013) و نرم‌افزار سیگما پلات (Sigma-USA) انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی پایه‌های مختلف گلابی در شرایط کم آبیاری و مقایسه آن با شاهد بدون تنش نشان داد که پایه‌های گلابی از نظر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک مورد ارزیابی تفاوت معنی‌دار داشتند. بر این اساس، شاخص‌های مورد ارزیابی در دو گروه شاخص‌های رشد، در بردارنده ارتفاع پایه‌ها و تعداد برگ تولیدی و همچنین شاخص‌های فیزیولوژیک در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرند.

شاخص‌های رشد

دو شاخص رشد شامل میزان افزایش ارتفاع پایه‌ها (سرعت رشد نسبی) و افزایش تعداد برگ پس از گذشت دوره‌های ۱۵ روزه و در مجموع طی ۶۰ روز از اعمال تنش‌های کم آبیاری روی پایه‌های مختلف گلابی ارزیابی و نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش بالاترین سرعت افزایش ارتفاع نسبی به ترتیب در دو پایه پررشد *P. betulifolia* و پایه کشت بافتی

درگزی و پس از آن‌ها در پایه‌های نیمه‌پاکوتاه‌کننده OH×F69، پیرودوارف و OH×F87مشاهده شد (شکل ۱).

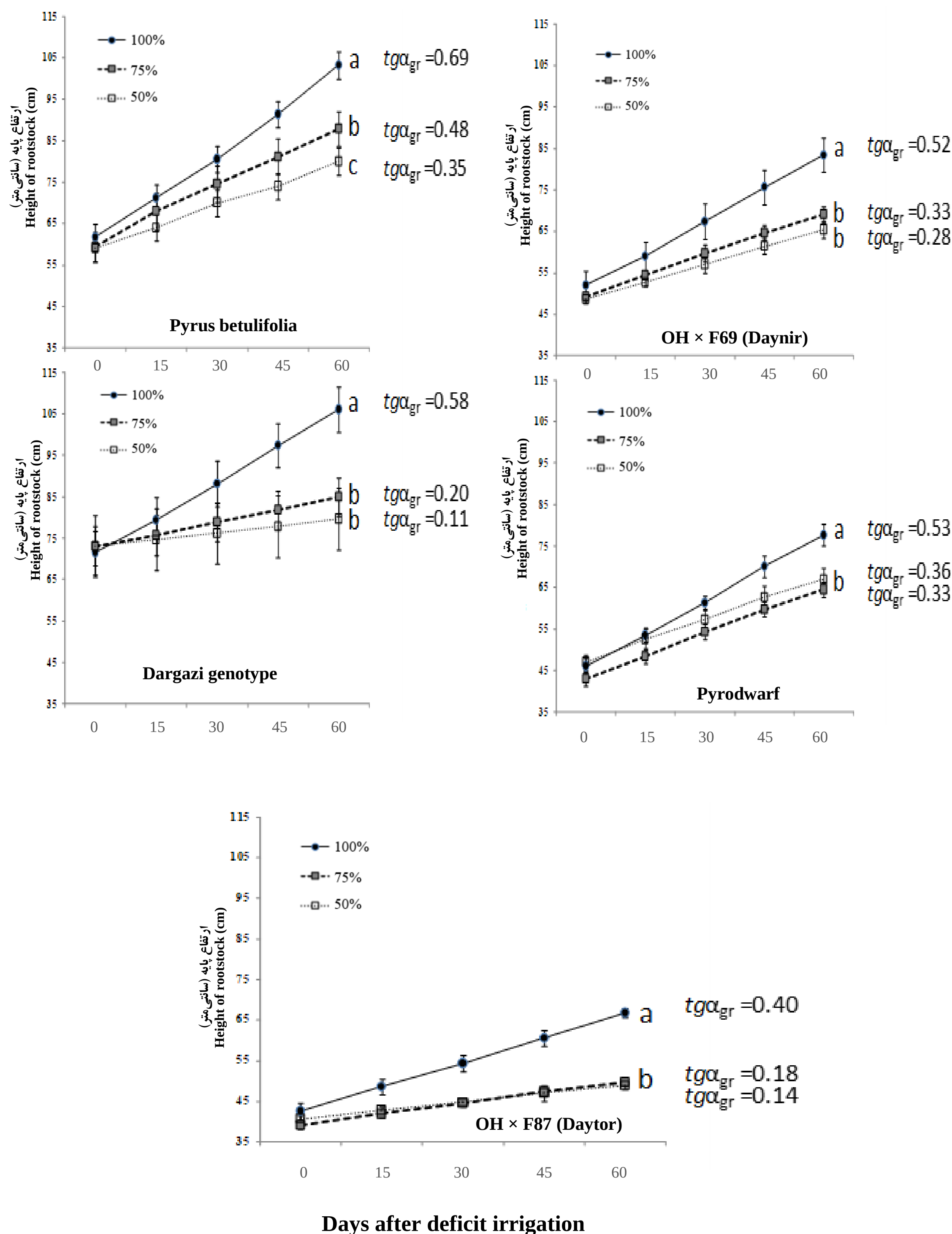
این میزان رشد با توجه به اینکه پایه *P. betulifolia* و درگزی به ترتیب از پررشدترین پایه‌های گلابی محسوب می‌شوند، منطبق با گروهبندی پایه‌های گلابی است (Abdollahi, 2010; Westwood, 1993). در بررسی‌های قبلی هر سه پایه نیمه‌پاکوتاه‌کننده مورد بررسی، در یک رده ارزیابی شده بودند که در اینجا در پایه OH×F87 سرعت رشد کمتری مشاهده شد. با توجه به دوره کوتاه مدت ارزیابی لازم است رشد پایه OH×F87 در دوره چندساله در شرایط باغ مورد بررسی قرار گیرد.

وضعیت کاملاً مشابهی در رابطه با افزایش تعداد برگ در دوره مورد بررسی در رابطه با پایه‌های فوق مشاهده شد که تایید کننده نتایج سرعت افزایش ارتفاع پایه‌ها و سرعت رشد نسبی بالاتر در دو پایه *P. betulifolia* و درگزی و کمترین سرعت رشد نسبی در پایه OH×F87 بود (شکل ۲). در حال حاضر باغ‌های گلابی در مناطق گلابی‌کاری ایران به صورت نیمه متراکم روی پایه نیمه‌پاکوتاه‌کننده پیرودوارف احداث می‌شوند، با توجه به شواهد اولیه رشد کمتر پایه OH×F87 در مقایسه با پایه پیرودوارف، لازم است اندازه نهائی و امکان افزایش تراکم کاشت با این پایه در برنامه تحقیقاتی طولانی مدتی مورد ارزیابی قرار گیرد.

نتایج همچنین نشان داد که در شرایط تنش کسرآبیاری، در دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه، میزان افزایش ارتفاع و رشد پایه و همچنین افزایش تعداد برگ در تمامی پایه‌ها کاهش یافت، لیکن این میزان کاهش شاخص‌های رشدی در پایه‌های مختلف گلابی مورد بررسی متفاوت بود (شکل ۱ و ۲). در بین پایه‌ها، بالاترین میزان حفظ شاخص افزایش ارتفاع یا همان سرعت رشد نسبی در شرایط کم آبیاری در پایه *P. betulifolia* و پس از آن در پایه‌های پیرودوارف و OH×F69 مشاهده شد (شکل ۱).

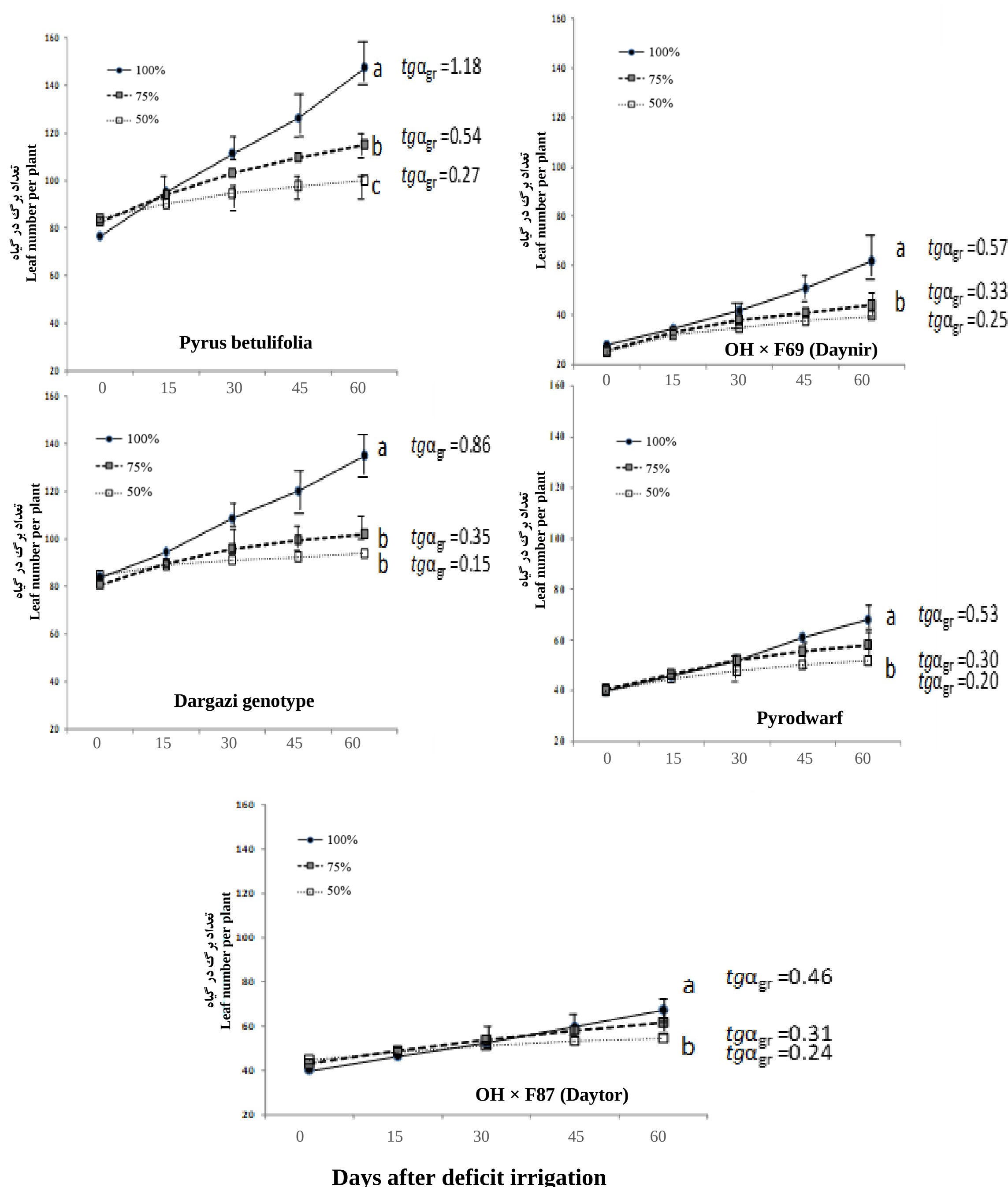
بر اساس شاخص تعداد برگ تنها پایه *P. betulifolia* به بالاترین میزان تولید برگ در دو شرایط کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه ادامه دادند و سایر پایه‌ها میزان تولید برگ کم و بیش یکنواختی در تیمارهای کم آبیاری داشتند (شکل ۲). مقایسه نتایج ارائه شده بر اساس دو شاخص افزایش ارتفاع و افزایش تعداد برگ بیانگر این بود که بخشی از حفظ رشد و افزایش ارتفاع پایه‌های پیرودوارف و OH×F69 به دلیل افزایش طول میانگره و نه به دلیل افزایش تعداد برگ بود.

بر اساس هر دو شاخص افزایش ارتفاع و افزایش تعداد برگ، تنها در پایه *P. betulifolia* کاهش تدریجی دو شاخص رشدی در دو سطح تنش ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد و در دیگر پایه‌ها در این دو سطح هر دو



شکل ۱- مقایسه میزان رشد پایه‌های مختلف گلابی بر اساس شاخص ارتفاع (سرعت رشد نسبی) پایه‌ها در دوره ۶۰ روزه بعد از تنش کم آبیاری. سرعت رشد نسبی بر اساس تانژانت نمودار رشدی ($tg\alpha_{gr}$) ارزیابی شد. تیمارهای کم آبیاری در دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه اعمال و با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) مقایسه شد. حروف مشابه در انتهای نمودارهای رشد، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار میزان افزایش ارتفاع پایه‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. خطوط عمودی نمودار بیانگر میانگین ± خطای استاندارد است.

Fig. 1. Comparison of the relative growth rate of different pear rootstocks on 60 days after deficit irrigation regimes. The growth rate of rootstocks was evaluated using the tangent of the growth line ($tg\alpha_{gr}$). Deficit irrigation regimes were applied at 75 and 50 percent of the field capacity and compared with control plants (100% of filed capacity irrigation). Similar letters at the end of growth lines indicate no significant differences (P<0.01) using Duncan's Multiple Range Test. The vertical lines on the line show mean ± standard error.



شکل ۲- مقایسه تعداد برگ پایه‌های مختلف گلابی بر اساس شاخص افزایش تعداد برگ در پایه‌ها طی دوره ۶۰ روزه بعد از تنش کم آبیاری. شاخص افزایش تعداد برگ بر اساس تانژانت افزایش تعداد برگ ($tg\alpha_{gr}$) نمایش داده شد. تیمارهای کم آبیاری در دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه اعمال و با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) مقایسه شد. حروف مشابه در انتهای نمودارهای تعداد برگ، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار تعداد برگ پایه‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. خطوط عمودی نمودار بیانگر میانگین ± خطای استاندارد است.

Fig. 2. Comparison of the leaf number of different pear rootstocks on 60 days after deficit irrigation regimes. The leaf number of rootstocks was evaluated using the tangent of the leaf number line ($tg\alpha_{gr}$). Deficit irrigation regimes were applied at 75 and 50 percent of the field capacity and compared with control plants (100% of filed capacity irrigation). Similar letters at the end of leaf number lines indicate no significant differences ($P<0.01$) using Duncan's Multiple Range Test. The vertical lines on the lines show mean ± standard error.

شاخص کاهش قابل‌توجه داشت و بین سطح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این کاهش تدریجی دو شاخص افزایش ارتفاع و افزایش تعداد برگ در پایه بذر *P. betulifolia*، بیانگر وجود بالاترین سطح مقاومت به تنش کم آبیاری در این پایه در مقایسه با پایه‌های دیگر مورد ارزیابی است. به این صورت که در دیگر پایه‌ها، با مواجهه با تنش، شاخص‌های رشدی کاهش قابل توجه و چشمگیری داشتند که البته میزان آن بسته به نوع پایه تا حدی متفاوت و بیانگر میزان تحمل آن به کمبود آب در محیط ریشه می‌باشد.

بر اساس این نتایج، پایه *P. betulifolia* متحمل‌ترین پایه به تنش کم آبیاری و پایه OH×F87 حساس‌ترین پایه ارزیابی شد. این نتایج با طبقه‌بندی بل (Bell, 1991) در رابطه با گونه‌های گلابی برای تحمل به تنش خشکی و همچنین نتایج استرن و همکاران (Stern *et al*., 2013) مبنی بر تحمل بالای همگروه گزینش شده لاوی-۱ (Lavi-1) در فلسطین اشغالی منطبق بود.

شاخص‌های فیزیولوژیک

ارزیابی میزان محتوای آب نسبی برگ و پرولین بیانگر تغییرات بسیار منظم این دو شاخص بر اساس شدت تنش کم آبیاری در کلیه پایه‌های گلابی مورد ارزیابی بود (جدول ۱). در کلیه پایه‌ها با افزایش شدت کم آبیاری میزان محتوای آب نسبی برگ کاهش معنی‌دار و پرولین افزایش معنی‌دار نشان داد. در کلیه پایه‌های گلابی میزان محتوای آب نسبی برگ در شرایط بدون تنش بین کمترین (۷۲/۳ درصد) و بیشترین (۸۳/۳ درصد) به ترتیب در پایه‌های *P. betulifolia* و OH×F69 مشاهده شد (جدول ۱).

این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط طبیعی و بدون تنش نیز پایه *P. betulifolia* دارای محتوای نسبی آب کمتر می‌باشد و تحمل بیشتر این پایه به تنش کم آبیاری می‌تواند ناشی از این خصوصیت باشد. همچنین در کلیه پایه‌ها، تنش کم آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ به حدود ۶۵ درصد و تنش کم آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه سبب کاهش این شاخص به میزان بیشتری شد. لیکن در پایه OH×F87 این کاهش بیشتر و در پایه پیرودوارف، خصوصاً پس از مدت ۳۰ روز از آغاز تنش، از شدت کمتری برخوردار بود (جدول ۱).

میزان پرولین در کلیه سطوح تنش کم آبیاری افزایش یافت. بیشترین میزان افزایش میزان پرولین در پایه *P. betulifolia* بود و به میزان ۱۳۳ و ۱۴۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ مشاهده شد (جدول ۱). با افزایش مدت تنش، میزان پرولین به طور منظمی افزایش یافت. به طور کلی در گیاهان سنتز پرولین و پلی‌اول‌ها از سازکارهایی است که در شرایط تنش خشکی افزایش یافته و از این طریق هدررفت آب سلول را کاهش می‌دهد (Blum 2005;

جدول ۱- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ و پرولین در پایه‌های گلابی در ۳۰ و ۶۰ روز پس از تنش کسرآبیاری در دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه

Table 1. Mean comparison of relative leaf water content (RWC) and proline in pear rootstocks 30 and 60 days after deficit irrigation regimes at 75% and 50% of field capacity (F. C.)

پایه Rootstock	کم آبیاری (درصد ظرفیت مزرعه) Deficit Irrigation (% F. C.)	محتوای آب برگ (درصد) RWC (%)		پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر) Prolin (μg g⁻¹FW)	
--	--	30 days	60 days	30 days	60 days
Pyrus betulifolia Bunge.	100	72.3a	80.0a	42.0c	40.1c
	75	64.2b	65.8b	58.6b	72.3b
	50	57.1c	58.3c	133a	140a
Dargazi genotype	100	75.7a	80.7a	32.4c	34.4c
	75	67.7b	65.7b	49.4b	59.5b
	50	61.9c	57.4c	107a	125a
OH×F69 (Daynir)	100	83.3a	78.3a	31.1c	37.2c
	75	64.5b	66.5b	64.7b	62.8b
	50	58.9c	59.5c	114a	132a
Pyrodwarf	100	81.5a	81.7a	36.3c	38.2c
	75	72.3b	69.4b	67.5b	65.6b
	50	67.0c	58.9c	122a	135a
OH×F87 (Daytor)	100	73.5a	82.1a	32.1c	33.3c
	75	62.4b	62.5b	48.4b	59.7b
	50	53.5c	56.0c	109a	124a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 1% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

(DaCosta and Huang, 2006). علاوه بر این پرولین از اسیدهای آمینه با خاصیت ضداکسیداتیو است که در شرایط تنش با کاهش خسارت رادیکال‌های فعال اکسیژن به پایداری غشاء کمک می‌کند.

نتایج این پژوهش نشان داد که پایه‌های *P. betulifolia*، پیرودوارف و OH×F69 بیشترین میزان رشد خود را در شرایط تنش حفظ کردند. میزان پرولین نیز به ترتیب بیشترین افزایش را نشان داد. این ارتباط بیانگر نقش کلیدی پرولین در تحمل به تنش خشکی است (جدول ۱). ارزیابی رجب‌پور و همکاران (Rajabpoor *et al*., 2014) در مورد گونه‌های مختلف درختان جنس *Prunus* نشان داد که در متحمل‌ترین گونه‌های این جنس و بویژه گونه *P. scoparia* به طور طبیعی بالاترین میزان پرولین در برگ وجود دارد و با افزایش شدت تنش این میزان افزایش بیشتری نشان می‌دهد. این نتایج با یافته‌های این پژوهش بویژه در رابطه با پایه متعلق به گونه *P. betulifolia* منطبق است (Stern *et al*., 2013).

میزان کربوهیدارت‌های کل و پروتئین کل دو شاخصی بودند که در شرایط تنش کم آبیاری و با افزایش شدت تنش، رفتار متفاوتی نشان دادند. بر این اساس میزان کربوهیدارت کل با افزایش شدت تنش در کلیه پایه‌ها افزایش و میزان پروتئین کل کاهش نشان داد (جدول ۲). اگرچه گزارش شده است که در گیاهان، تحمل به تنش خشکی با حفظ متابولیت‌ها بویژه تجمع اسیدهای آمینه، کربوهیدارت‌ها و اسیدهای آلی همراه است (Merewitz *et al*., 2011)، افزایش این مواد

جدول ۲- مقایسه میانگین میزان پروتئین کل و کربوهیدارت کل در پایه‌های گلابی در ۳۰ و ۶۰ روز پس از تنش کم آبیاری در دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه

Table 2. Mean comparison of the total protein and carbohydrate in pear rootstocks on 30 and 60 days after deficit irrigation regimes at 75% and 50% of field capacity (F. C.)

پایه Rootstocks	کم آبیاری (درصد ظرفیت مزرعه) Deficit Irrigation (% F. C.)	پروتئین کل (گرم در صد گرم وزن تر) Total Protein (g 100 g^{-1} FW)		کربوهیدرات کل (گرم در صد گرم وزن تر) Total Carbohydrate (g 100 g^{-1} FW)	
--	--	30 days	60 days	30 days	60 days
	100	0.22a	0.23a	1.3c	2.3c
Pyrus betulifolia Bunge.	75	0.19b	0.18b	2.0b	3.4b
	50	0.17b	0.10c	3.2a	4.5a
	100	0.21a	0.23a	1.5c	2.0c
Dargazi genotype	75	0.16b	0.14b	2.2b	3.0b
	50	0.15b	0.09c	3.0a	3.7a
	100	0.21a	0.21a	2.0c	2.1c
OH×F69 (Daynir)	75	0.16b	0.15b	2.5b	3.1b
	50	0.15b	0.06c	3.9a	4.3a
	100	0.20a	0.22a	1.9c	2.0c
Pyrodwarf	75	0.16b	0.16b	3.0b	3.4b
	50	0.14c	0.07c	3.9a	4.5a
	100	0.22a	0.20a	2.2c	2.4c
OH×F87 (Daytor)	75	0.17b	0.13b	3.4b	3.5b
	50	0.15c	0.05c	3.9a	4.5a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 1% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

می‌تواند ناشی از وجود سایر ساختارهای تحمل گیاه و در اثر ادامه فرآیند فتوسنتز ناشی شود. در اینجا نیز اگرچه افزایش میزان کربوهیدرات‌های کل و کاهش پروتئین کل در برگ‌های پایه‌ها مشاهده شد، لیکن این تغییرات ارتباط مستقیمی با میزان تحمل پایه نداشت. بطوریکه در پایه حساس‌تر OH×F87، همانند دو پایه متحمل‌تر *P. betulifolia* و پیرودوارف، میزان کربوهیدرات‌های کل افزایش۴/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ را نشان داد (جدول ۲).

میزان نشت یونی از شاخص‌هایی بود که ضمن داشتن تغییرات منظم در شدت‌های مختلف تنش کم آبیاری، ارتباط مستقیمی با میزان تحمل پایه به تنش خشکی نشان داد. بر این اساس در پایه متحمل‌تر *P. betulifolia* میزان نشت یونی پس از ۳۰ روز کمتر از ۲۵ درصد و در دو پایه پیرودوارف و OH×F69 این میزان طی این دوره به کمتر از ۳۰ درصد رسید (جدول ۳). این در حالی است که طی این دوره در دو پایه درگزی و OH×F87 که بیشتر تحت تاثیر تنش قرار گرفتند در هر دو دوره ۳۰ و ۶۰ روز پس از اعمال تنش میزان نشت یونی بالای ۳۰ درصد بود (جدول ۳).

میزان شاخص پایداری غشاء از طریق ارزیابی میزان مالون‌دی‌آلدئید گرچه با شدت تنش در هر پایه ارتباط مستقیم نشان داد، لیکن میزان آن در پایه‌های متحمل‌تر بیشتر نبود (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد که در شاخص میزان نشت یونی، عوامل متعدد دیگر به غیر از مالون‌دی‌آلدئید دخیل بوده و این شاخص نمی‌تواند در گلابی به عنوان شاخص انحصاری برای میزان پایداری غشاء و جلوگیری از نشت

جدول ۳- مقایسه میانگین میزان نشت یونی و پایداری غشاء در پایه‌های مختلف گلابی در ۳۰ و ۶۰ روز پس از تنش کم آبیاری در دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه

Table 3. Mean comparison of the electrolyte leakage and membrane stability in pear rootstocks 30 and 60 days after deficit irrigation regimes at 75% and 50% of field capacity (F. C.)

پایه Rootstocks	کم آبیاری (درصد ظرفیت مزرعه) Deficit Irrigation (% F. C.)	درصد نشت یونی Electrolyte leakage (%)		مالون دی‌آلدئید (میلی‌مول در گرم) Malondialdehyde (mmol g^{-1})	
-	-	30 days	60 days	30 days	60 days
	100	15.0c	17.9c	0.14b	0.15c
Pyrus betulifolia Bunge.	75	19.2b	21.4b	0.15b	0.18b
	50	23.5a	27.8a	0.20a	0.22a
	100	16.5c	13.9c	0.14c	0.16b
Dargazi genotype	75	24.3b	23.7b	0.18b	0.24a
	50	31.3a	32.0a	0.21a	0.25a
	100	15.8c	15.4c	0.17c	0.17c
OH×F69 (Daynir)	75	23.1b	20.2b	0.19b	0.22b
	50	27.7a	27.5a	0.23a	0.25a
	100	18.0c	18.6c	0.16c	0.17b
Pyrodwarf	75	21.4b	24.7b	0.19b	0.23a
	50	27.8a	29.6a	0.22a	0.24a
	100	17.6c	15.8c	0.19c	0.21b
OH×F87 (Daytor)	75	25.5b	22.7b	0.21b	0.23a
	50	30.2a	30.5a	0.26a	0.24a

میانگین‌هایی، در هر ستون ،که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 1% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

یونی مد نظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی و مقایسه پایه‌های مختلف گلابی مورد استفاده در این پژوهش بیانگر وجود بالاترین میزان مقاومت به تنش کم آبیاری در پایه *P. betulifolia* بود که با گزارشات متعدد قبلی در رابطه با تحمل به تنش خشکی در بین گونه‌های گلابی تطابق داشت. از سوی دیگر در سایر پایه‌ها که همگی متعلق به گونه *P. communis* بودند نیز سطوح متفاوتی از تحمل به تنش کم آبیاری مشاهده شد، به صورتی که بیشترین تحمل به تنش کم آبیاری در بین پایه‌های مورد ارزیابی در این گونه در پایه پیرودوارف و کمترین آن در پایه OH×F87 مشاهده شد.

ارزیابی‌های شاخص‌های فیزیولوژیک مورد بررسی در این پژوهش شامل میزان محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین، کربوهیدرات‌های کل و پروتئین کل و همچنین شاخص‌های پایداری غشاء و نشت یونی نشان داد که در بین این شاخص‌ها، اگرچه همگی رفتار بسیار منظم و وابسته به شدت تنش کم آبیاری در پایه‌ها داشتند، لیکن میزان پرولین و نشت یونی از شاخص‌هائی بودند که بجز از وابستگی به شدت تنش کم آبیاری، با سطح تحمل پایه‌ها به تنش کم آبیاری نیز در ارتباط کامل بودند. بر این اساس در پایه‌های متحمل‌تر شامل پایه *P. betulifolia* و پیرودوارف میزان پرولین به ترتیب در بالاترین سطح و نشت یونی در پائین‌ترین سطح در تنش شدید کم آبیاری قرار داشت.

نتایج نشان داد که میزان پرولین بر اساس خصوصیات ذکر شده آن در ارتباط با تحمل به خشکی ارتباط نزدیکی با آن داد و میزان نشت یونی نیز از شاخص‌هائی است که در ارتباط با سطح پایداری غشاء می‌تواند به عنوان یک شاخص فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به تنش کم آبیاری مد نظر قرار گیرد. لیکن بررسی میزان مالون‌دی‌آلدئید ارتباط کامل با تحمل پایه‌ها نداشت که این نشان داد که به جز شاخص مالون‌دی‌آلدئید، عوامل دیگری نیز می‌تواند در پایداری غشاء موثر و تعیین کننده باشند.

بر اساس نتایج این پژوهش، ترتیب نزولی تحمل به تنش کم آبیاری به ترتیب در پایه *P. betulifolia*، پیرودوارف، OH×F69، پایه درگزی و در نهایت پایه OH×F87 مشاهده شد. با توجه به عدم پیوند ارقام گلابی و برهمکنش رقم × پایه در تحمل به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی و کم آبیاری، لازم است در مرحله بعدی این ارزیابی با استفاده از ترکیبات پیوندی ارقام تجاری در شرایط گلدانی و همچنین کشت در باغ مورد ارزیابی طولانی مدت‌تری قرار گیرد.

پایه *P. betulifolia* دارای خصوصیات مطلوب می‌باشد (Bell, 1991)، لیکن تنها ایراد این پایه می‌تواند تحمل کمتر آن به خاک‌های قلیائی باشد. بر این اساس، ارزیابی تکمیلی این پایه طی یک برنامه طولانی مدت و با استفاده از پیوند ارقام مختلف تجاری گلابی روی آن، می‌تواند امکان استفاده از این پایه در سطح تجاری و در مناطق دارای تنش خشکی و سطح تحمل آن به خاک‌های قلیائی را تعیین کند.

در نهایت با توجه به سازگاری گرده کلیه گونه‌های گلابی با یکدیگر و امکان انجام تلاقی‌های بین گونه‌ای در این جنس، استفاده از بذور هیبرید بین گونه‌ای بین گونه *P. betulifolia* و *P. communis* و یا برنامه‌های به‌نژادی و گزینشی برای تولید پایه‌های همگروه بین گونه‌ای می‌تواند از گزینه‌های دیگر استفاده از خصوصیات مطلوب پایه *P. betulifolia* برای تحمل به تنش خشکی باشد که باید در آینده مورد توجه بیشتر و دقیق‌تری قرار گیرد.

سپاسگزاری

نگارندگان از زحمات کارکنان آزمایشگاه کشت بافت و بیوتکنولوژی پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری موسسه تحقیقات علوم باغبانی، بویژه خانم مهندس زینب صالحی و خانم مهندس مریم دودانگه کمال تشکر را دارند. همچنین از راهنمائی‌ها و ارائه شده توسط آقای دکتر داریوش آتشکار، عضو هیات علمی موسسه تحقیقات علوم باغبانی سپاسگزاری می‌کنند.

References

Abdollahi, H. 2010. Pear: botany, cultivars and rootstocks. Iranian Agricultural Ministry Publications, Tehran, Iran. 210 pp. (in Persian).

Abdollahi, H., Ghasemi, A., and Mehrabi Pour, S. 2008. Evaluation of fire blight resistance in some quince (*Cydonia oblonga* Mill.) genotypes. II. Resistance of genotypes to the disease. Seed and Plant Journal 24: 529-541 (in Persian).

Abdollahi, H., Mohammadi, M., Atashkar, D., and Alizadeh, A. 2018. Comparison of growth and yield of some commercial pear cultivars on two dwarf hawthorn (*Crataegus atrosanguinea*) and quince A rootstocks. Seed and Plant Production Journal 34-2 (1): 1-21 (in Persian).

Abdollahi, H., Muleo, R., and Rugini, E. 2005. Study of basal growth media, growth regulators and pectin effects on micropropagation of pear (Pyrus communis L.) cultivars. Seed and Plant Journal 21: 373-384 (in Persian).

Al Maarri, K., Haddad, S., and Fallouh, I. 2007. Selections of *Pyrus syriaca* as promising rootstocks for pear cultivars. Acta Horticulturae 732: 217-220.

Anonymous. 2018. Statistical yearbook of the horticultural crops. Agricultural Ministry of Iran, Tehran, Iran. 241 pp. (in Persian).

Atashkar, D., Ershadi, A., Taheri, M., and Abdollahi, H. 2019. Screening for drought tolerance in some hybrid apple rootstocks based on photosynthesis characteristics. Iranian Journal of Horticultural Science 49: 1013-1024.

Bell, R. L. 1991. Pears (*Pyrus*). Acta Horticulturae 290: 657–700.

Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159-1168.

Bonany, J., Dolcet-Sanjuan, R., Claveria, E., Iglesias, I., Asin, L., and Simard, M. H. 2005. Breeding of pear rootstocks. First evaluation of new interspecific rootstocks for tolerance to lime-induced chlorosis and induced vigor under field conditions. Acta Horticulturae 671: 239-246.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annals of Biochemistry 72: 248-254.

Buysse, J., and R. Merckx. 1993. An improved colorimetric method to quantify sugar content of plant tissue. Journal of Experimental Botany 44:1627–1629

Campbell, J. 2003. Pear Rootstocks. AGFACTS, the State of New South Wales Agriculture, Australia. 13 pp.

Chalices, J. S., and Westwood, M. N. 1973. Numerical taxonomic studies on the genus Pyrus using both chemical and botanical characters. Botanical Journal of the Linnaean Society 67: 121-148.

DaCosta, M., and Huang, B. R. 2006. Osmotic adjustment associated with variation in bentgrass tolerance to drought stress. Journal of the American Society for Horticultural Science 131: 338-344.

FAO. 2018. Food and Agriculture Organization statistical yearbook. Food and Agriculture Organization Publication, Rome, Italy.

Ghasemi, A., Nassiri, J., and Yahyaabadi, M. 2010. Study of the relative tolerance of quince (*Cydonia oblonga* Mill.) rootstocks to different bicarbonate concentrations. Seed and Plant Improvement Journal 31-1: 265-278. (in Persian).

Hancock, J. F., and Lobos, G. A. 2008. Pears. pp. 299-335. In: Hancock, J. F. (ed.) temperate fruit crop breeding, germplasm to genomics. Springer Science Press, USA.

Heath, R. L., and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives in Biochemistry and Biophysics 125: 189-198..

Jacob, H. B. 1998. Pyrodwarf, a new clonal rootstock for high density pear orchards. Acta Horticulturae 475: 169-178.

Liu, B. H., Cheng, L., Liang, D., Zou, Y. J., and Ma, F. W. 2012. Growth, gas exchange, water-use efficiency, and carbon isotope composition of 'Gale Gala' apple trees grafted onto 9 wild Chinese rootstocks in response to drought stress. Photosynthetica 50: 401-410.

Lombard, P. B., and Westwood, M. N. 1987. Pear rootstocks. pp. 145-183. In: Rom R. C., and Carlson R. F. (eds.) rootstocks for fruit crops. Wiley. New York.

Mansuryar, M., Erfani Moghadam, J., Abdollahi H., and Salami, S. A. R. 2016. Optimization of in vitro micropropagation protocol for some vigorous rootstocks of pear. Iranian Journal of Horticultural Science 47: 361-370 (in Persian).

Mansuryar, M., Abdollahi H., Erfani Moghadam, J., Mirabdulbaghi, M., and Salami, S. A. R. 2017a. Effects of ammonium nitrate and calcium chloride salts on proliferation and improvement of in vitro shootlets quality of vigorous pear rootstocks. Seed and Plant Production Journal 33-2: 249-266 (in Persian).

Mansuryar, M., Abdollahi H., Erfani Moghadam, J., and Salami, S. A. R. 2017b. Study of antioxidant enzymes activity and morphological changes in some vigorous pears inoculated with cause of fire blight disease (*Erwinia amylovora*) in vitro conditions. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 18: 81-88 (in Persian).

Merewitz, E. B., Gianfagna, T., and Huang, B. 2011. Protein accumulation in leaves and roots associated with improved drought tolerance in creeping bentgrass expressing an ipt gene for cytokinin synthesis. Journal of the Experimental Botany 62: 5311-5333.

Nikzad Gharehaghaji. A. 2013. Evaluation of genetic diversity of native and wild pears of Iran. Ph. D. Thesis. University of Trabiat Modaress, Tehan, Iran. 150 pp (in Persian).

Rahmati, M., Arzani, K., and Yadollahi, A. 2015a. Variation in some European pear (*Pyrus communis* L.) seedling rootstock populations using morphological characteristics. Seed and Plant Improvement Journal 31: 391-397 (in Persian).

Rahmati, M., Arzani, K., Yadollahi, A., and Abdollahi, H. 2015b. Influence of rootstock on vegetative growth and graft incompatibility in some pear (*Pyrus* SPP.) cultivars. Indo-American Journal of Agricultural and Vegetable Sciences 3: 25-32 .

Rajabpoor, Sh., Kiani, S., Sorkheh, K., and Tavakoli, F. 2014. Changes induced by osmotic stress in the morphology, biochemistry, physiology, anatomy and stomatal parameters of almond species (*Prunus* L. spp.) grown *in vitro*. Journal of Forestry Research 25: 523-534.

Sairam, R. K. 1994. Effect of moisture stress on physiological activities of two contrasting wheat genotypes. Indian Journal of Experimental Biology 32: 594-597.

Stern, RA, Doron, I, Redel G., Raz, A, Goldway M., and Holland D. 2013. Lavi 1-a new *Pyrus betulifolia* rootstock for 'Coscia' pear (*Pyrus communis*) in the hot climate of Israel. Scientia Horticulturae 161: 293-299.

Tatari, M., Ghasemi A., and Rezaei M. 2016. Evaluation of vegetative and reproductive traits of some commercial pear cultivars on quince clonal rootstocks in Isfahan climatic conditions. Seed and Plant Production Journal 32-2: 45-62. (in Persian).

Tukey, H. B. 1964. Dwarfed fruit trees. Cornell University Press, Ithaca, USA. 562 pp.

Westwood, M. N. 1993. Temperate zone pomology: physiology and culture. Timber Press. Portland, Oregon. 523 pp.